

**OPTICAL SYSTEM AND EXPOSURE SYSTEM PROVIDED WITH THE OPTICAL SYSTEM**

Patent Number: ☐ WO02097508  
Publication date: 2002-12-05  
Inventor(s): SHIRAIISHI NAOMASA; OMURA YASUHIRO; OWA SOICHI; TANAKA ISSEI  
Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK (JP)  
Requested Patent: JP2003050349  
Application Number: WO2002JP05245 20020529  
Priority Number(s): JP20010162386 20010530; JP20010243319 20010810  
IPC Classification: G02B13/24; H01L21/027  
EC Classification: G02B5/30R, G02B1/02, G02B13/14B, G03F7/20T12, G03F7/20T26  
Equivalents: TW573315  
Cited patent(s): EP1063684; JP2000331927

---

**Abstract**

---

An optical system having a good optical performance without being practically affected by double refraction even if an optical material having an intrinsic double refraction, such as fluorite, is used. The optical system comprises a fifth-group light transmitting member having a feature of practically transmitting light with a wavelength of up to 200 nm and being formed to have an optical axis aligned with a crystal axis  $\pm 10^\circ$ ; or a crystal axis practically optically equivalent to the crystal axis  $\pm 10^\circ$ ; and a sixth-group light transmitting member having a feature of practically transmitting light with a wavelength of up to 200 nm and being formed to have an optical axis aligned with a crystal axis  $\pm 10^\circ$ ; or a crystal axis practically optically equivalent to the crystal axis  $\pm 10^\circ$ . The fifth-group light transmitting member and the sixth-group light transmitting member are so related in position as to be rotated about  $90^\circ$  from each other around an optical axis.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-50349

(P2003-50349A)

(43)公開日 平成15年2月21日(2003.2.21)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード(参考)
G 0 2 B 13/24		G 0 2 B 13/24	2 H 0 8 7
1/02		1/02	2 H 0 9 7
27/28		27/28	Z 2 H 0 9 9
G 0 3 F 7/20	5 0 2	G 0 3 F 7/20	5 0 2 5 F 0 4 6
	5 2 1		5 2 1

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001-243319(P2001-243319)

(22)出願日 平成13年8月10日(2001.8.10)

(31)優先権主張番号 特願2001-162386(P2001-162386)

(32)優先日 平成13年5月30日(2001.5.30)

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 大和 壮一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72)発明者 白石 直正

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74)代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

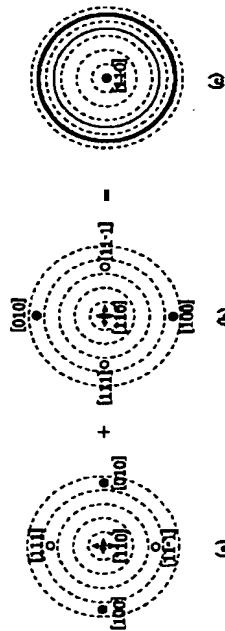
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学系および該光学系を備えた露光装置

(57)【要約】

【課題】 たとえば蛍石のような固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する光学系。

【解決手段】 波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸[110]または該結晶軸[110]と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第5群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸[110]または該結晶軸[110]と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第6群の光透過部材とを備えている。第5群の光透過部材と第6群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ90°だけ相対的に回転した位置関係を有する。



【請求項1】 波長

【請求項2】 波長が200 nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第1群の光透過部材と、波長が200 nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第2群の光透過部材とを備え、前記第1群の光透過部材と前記第2群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ45°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする光学系。

【請求項4】 波長が200 nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔110〕または該結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第5群の光透過部材と、波長が200 nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔110〕または該結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第6群の光透過部材とを備え、前記第5群の光透過部材と前記第6群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ90°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする請求項3に記載の光学系。

前記第 5 群の光透過部材と前記第 6 群の光透過部材と

【請求項6】 波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された少なくとも1つの光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第1群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第2群の光透過部材とを備え、前記第1群の光透過部材と前記第2群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ45°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする光学系。

【請求項 8】 波長が 200 nm 以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [100] または該結晶軸 [100] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された少なくとも 1 つの光透過部材と、波長が 200 nm 以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [110] または該結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第 5 群の光透過部材と、波長が 200 nm 以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [110] または該結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第 6 群の光透過部材とを備え、前記第 5 群の光透過部材と前記第 6 群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ 90° だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする光学系。

有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光

学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第2群の光透過部材と、  
波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸[110]または該結晶軸[110]と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第5群の光透過部材と、  
波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸[110]または該結晶軸[110]と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第6群の光透過部材とを備え、  
前記第1群の光透過部材と前記第2群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ45°だけ相対的に回転した位置関係を有し、  
前記第5群の光透過部材と前記第6群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ90°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする光学系。

【請求項10】 波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸[100]または該結晶軸[100]と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された少なくとも1つの光透過部材をさらに備えていることを特徴とする請求項9に記載の光学系。

【請求項11】 波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸[111]または該結晶軸[111]と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第3群の光透過部材と、  
波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸[111]または該結晶軸[111]と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第4群の光透過部材とを備え、  
前記第3群の光透過部材と前記第4群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ60°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする請求項9または10に記載の光学系。

【請求項12】 前記第1群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計と前記第2群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しいことを特徴とする請求項2、3、6、7、および9乃至11のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項13】 前記第5群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計と前記第6群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しいことを特徴とする請求項4、5、8、および9乃至11のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項14】 前記第3群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計と前記第4群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しいことを特徴とする請求項3、7、および11のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項15】 前記光学系は、少なくとも2つの負レンズ素子を有し、該少なくとも2つの負レンズ素子は前

記第5群および前記第6群の光透過部材を備えていることを特徴とする請求項4、5、8、9、または13に記載の光学系。

【請求項16】 前記光透過部材は蛍石で形成されていることを特徴とする請求項1乃至15のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項17】 第1面に形成されたパターンの像を第2面へ投影する投影光学系において、  
請求項1乃至16のいずれか1項に記載の光学系を備えていることを特徴とする投影光学系。

【請求項18】 請求項4、5、8、9、または13に記載の光学系を備え、第1面に形成されたパターンを第2面へ投影する投影光学系において、前記投影光学系は、往復光路を形成する凹面鏡と、該往復光路中に配置された屈折光学部材とを備え、  
前記屈折光学部材は、前記第5群および前記第6群の光透過部材を備えていることを特徴とする投影光学系。

【請求項19】 マスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンを露光性基板上に形成するための請求項1乃至18のいずれか1項に記載の光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学系および該光学系を備えた露光装置に関し、特に半導体素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に好適な投影光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体素子の製造や半導体チップ実装基板の製造では、微細化がますます進んでおり、パターンを焼き付ける露光装置ではより解像力の高い投影光学系が要求されてきている。この高解像の要求を満足するには、露光光を短波長化し、且つNA（投影光学系の開口数）を大きくしなければならない。しかしながら、露光光の波長が短くなると、光の吸収のため実用に耐える光学ガラスの種類が限られてくる。

【0003】たとえば波長が200nm以下の真空紫外域の光、特にF<sub>2</sub>レーザ光（波長157nm）を露光光として用いる場合、投影光学系を構成する光透過性光学材料としては、フッ化カルシウム（蛍石：CaF<sub>2</sub>）やフッ化バリウム（BaF<sub>2</sub>）等のフッ化物結晶を多用せざるを得ない。実際には、露光光としてF<sub>2</sub>レーザ光を用いる露光装置では、基本的に蛍石だけで投影光学系を形成する設計が想定されている。蛍石は、立方晶系であり、光学的には等方的で、複屈折が実質的にないと思われていた。また、従来の可視光域の実験では、蛍石について小さい複屈折（内部応力起因のランダムなもの）しか観測されていなかった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、2001年5月15日に開かれたリソグラフィに関するシンポジウム (2nd International Symposium on 157nm Lithography) において、米国NISTのJohn H. Burnettらにより、蛍石には固有複屈折 (intrinsic birefringence) が存在することを実験および理論の両面から確認したことが発表された。

【0005】この発表によれば、蛍石の複屈折は、結晶軸 [111] 方向およびこれと等価な結晶軸  $[-111]$ 、 $[1-11]$ 、 $[11-1]$  方向、並びに結晶軸 [100] 方向およびこれと等価な結晶軸 [010]、[001] 方向ではほぼ零であるが、その他の方向では実質的に零でない値を有する。特に、結晶軸 [110]、 $[-110]$ 、 $[101]$ 、 $[-101]$ 、 $[011]$ 、 $[01-1]$  の6方向では、波長157nmに対して最大で6.5nm/cm、波長193nmに対して最大で3.6nm/cmの複屈折の値を有する。これらの複屈折の値はランダムな複屈折の許容値とされる1nm/cmよりも実質的に大きい値であり、しかもランダムでない分だけ複数のレンズを通して複屈折の影響が蓄積する可能性がある。

【0006】従来技術では、投影光学系の設計において蛍石の複屈折性を考慮していないので、加工の容易さなどの観点から結晶軸 [111] と光軸とを一致させるのが一般的である。この場合、投影光学系では、NA (開口数) が比較的大きいため、結晶軸 [111] からある程度傾いた光線もレンズを通過するので、複屈折の影響により結像性能が悪化する可能性がある。

【0007】ところで、Burnettらは上述の発表において、一対の蛍石レンズの光軸と結晶軸 [111] とを一致させ且つ光軸を中心として一対の蛍石レンズを60°相対的に回転させることにより、複屈折の影響を補正する手法を開示している。しかしながら、この手法では、後述するように、複屈折の影響をある程度薄めることはできるが、複屈折の影響をこれと反対方向の複屈折の影響で積極的に補正していないので、その補正効果は十分ではなかった。

【0008】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえば蛍石のような固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する光学系および該光学系を備えた露光装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [100] または該結晶軸 [100] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された少なくとも1つの光透過部材を備えていることを特徴とする光学系を提供す

る。

【0010】本発明の第2発明では、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [100] または該結晶軸 [100] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第1群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [100] または該結晶軸 [100] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第2群の光透過部材とを備え、前記第1群の光透過部材と前記第2群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ45°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする光学系を提供する。

【0011】第2発明の好ましい態様によれば、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [111] または該結晶軸 [111] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第3群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [111] または該結晶軸 [111] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第4群の光透過部材とを備え、前記第3群の光透過部材と前記第4群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ60°だけ相対的に回転した位置関係を有する。また、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [110] または該結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第5群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [110] または該結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第6群の光透過部材とを備え、前記第5群の光透過部材と前記第6群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ90°だけ相対的に回転した位置関係を有することが好ましい。

【0012】本発明の第3発明では、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [110] または該結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第5群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [110] または該結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第6群の光透過部材とを備え、前記第5群の光透過部材と前記第6群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ90°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする光学系を提供する。

【0013】本発明の第4発明では、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [100] または該結晶軸 [100] と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された少なくとも1つの光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸 [100] または該

結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第1群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第2群の光透過部材とを備え、前記第1群の光透過部材と前記第2群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ45°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする光学系を提供する。

【0014】第4発明の好ましい態様によれば、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔111〕または該結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第3群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔111〕または該結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第4群の光透過部材とを備え、前記第3群の光透過部材と前記第4群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ60°だけ相対的に回転した位置関係を有する。

【0015】本発明の第5発明では、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された少なくとも1つの光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔110〕または該結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第5群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔110〕または該結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第6群の光透過部材とを備え、前記第5群の光透過部材と前記第6群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ90°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする光学系を提供する。

【0016】本発明の第6発明では、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第1群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第2群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔110〕または該結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第5群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔110〕または該結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第6群の光透過部材とを備

え、前記第1群の光透過部材と前記第2群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ45°だけ相対的に回転した位置関係を有し、前記第5群の光透過部材と前記第6群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ90°だけ相対的に回転した位置関係を有することを特徴とする光学系を提供する。

【0017】第6発明の好ましい態様によれば、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔100〕または該結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された少なくとも1つの光透過部材をさらに備えている。また、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔111〕または該結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第3群の光透過部材と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる特性を有し、結晶軸〔111〕または該結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と光軸とがほぼ一致するように形成された第4群の光透過部材とを備え、前記第3群の光透過部材と前記第4群の光透過部材とは、光軸を中心としてほぼ60°だけ相対的に回転した位置関係を有することが好ましい。

【0018】なお、上述の各発明において、前記第1群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計と前記第2群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しいこと、前記第5群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計と前記第6群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しいこと、前記第3群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計と前記第4群の光透過部材の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しいことが好ましい。また、前記光学系は、少なくとも2つの負レンズ素子を有し、該少なくとも2つの負レンズ素子は前記第5群および前記第6群の光透過部材を備えていることが好ましい。さらに、前記光透過部材は蛍石で形成されていることが好ましい。

【0019】本発明の第7発明では、第1面に形成されたパターン像を第2面へ投影する投影光学系において、第1発明～第6発明の光学系を備えていることを特徴とする投影光学系を提供する。本発明の第8発明では、第3発明または第5発明の光学系を備え、第1面に形成されたパターン像を第2面へ投影する投影光学系において、前記投影光学系は、往復光路を形成する凹面鏡と、該往復光路中に配置された屈折光学部材とを備え、前記屈折光学部材は、前記第5群および前記第6群の光透過部材を備えていることを特徴とする投影光学系を提供する。本発明の第9発明では、マスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターン像を感光性基板上に形成するための第1発明～第8発明の光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。なお、本発明において、第1群の光透過部材と第2群の光透過部材とが光軸を中心としてほぼ45°だけ

相対的に回転した位置関係を有するとは、第1群の光透過部材および第2群の光透過部材における光軸とは異なる方向に向けられた所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[010]$ 、 $[001]$ 、 $[01-1]$ 、または $[011]$ ）同士の光軸を中心とした相対的な角度がほぼ $45^\circ$ であることを意味する。なお、結晶軸 $[100]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が $90^\circ$ の周期で現れるため、光軸を中心としてほぼ $45^\circ$ だけ相対的に回転した位置関係を有することは、光軸を中心としてほぼ $45^\circ + (n \times 90^\circ)$ だけ相対的に回転した位置関係を有することと同じ意味である（ $n$ は整数である）。また、本発明において、第3群の光透過部材と第4群の光透過部材とが光軸を中心としてほぼ $60^\circ$ だけ相対的に回転した位置関係を有するとは、第3群の光透過部材および第4群の光透過部材における光軸とは異なる方向に向けられた所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[-111]$ 、 $[11-1]$ 、または $[1-11]$ ）同士の光軸を中心とした相対的な角度がほぼ $60^\circ$ であることを意味する。なお、結晶軸 $[111]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が $120^\circ$ の周期で現れるため、光軸を中心としてほぼ $60^\circ$ だけ相対的に回転した位置関係を有することは、光軸を中心としてほぼ $60^\circ + (n \times 120^\circ)$ だけ相対的に回転した位置関係を有することと同じ意味である（ $n$ は整数である）。また、本発明において、第5群の光透過部材と第6群の光透過部材とが光軸を中心としてほぼ $90^\circ$ だけ相対的に回転した位置関係を有するとは、第5群の光透過部材および第6群の光透過部材における光軸とは異なる方向に向けられた所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[001]$ 、 $[-111]$ 、 $[-110]$ 、または $[1-11]$ ）同士の光軸を中心とした相対的な角度がほぼ $90^\circ$ であることを意味する。なお、結晶軸 $[110]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が $180^\circ$ の周期で現れるため、光軸を中心としてほぼ $90^\circ$ だけ相対的に回転した位置関係を有することは、光軸を中心としてほぼ $90^\circ + (n \times 180^\circ)$ だけ相対的に回転した位置関係を有することと同じ意味である（ $n$ は整数である）。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態を、添付図面に基いて説明する。図1は、本発明の第1実施形態にかかる光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第1実施形態では、屈折型の投影光学系を備えた走査型投影露光装置に本発明を適用している。図1を参照すると、第1実施形態の露光装置は、第1面に配置されるレチクル（マスク）31を照明するための照明装置30を備えている。

【0021】照明装置30は、たとえば $157\text{ nm}$ の波長光を供給する $F_2$  レーザを有する光源、この光源から

の光により所定形状（円形状、輪帯状、二極状、四極状など）の二次光源を形成するオプティカルインテグレータ、レチクル31上での照射範囲を規定するための照明視野絞りなどを有し、レチクル31上の照明領域をほぼ均一な照度分布のもとで照明する。

【0022】ここで、照明装置30内の照明光路は不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施形態では窒素でパージしている。レチクル31はレチクルステージ32上に載置されており、レチクル31およびレチクルステージ32はケーシング33によって外部の雰囲気と隔離されている。このケーシング33の内部空間も不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施例では窒素でパージしている。

【0023】照明装置30により照明されたレチクル31からの光は、光軸AXに沿って配置された複数のレンズ素子34～39およびコヒーレンスファクタ（ $\sigma$ 値）を制御するための開口絞り40を有する投影光学系41を介して、感光性基板としてのウエハ42へ導かれ、ウエハ42上の露光領域内にレチクル31のパターン像を形成する。この投影光学系41内の投影光路は不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施形態ではヘリウムでパージしている。

【0024】ウエハ42は、その表面が投影光学系41の像面としての第2面に位置決めされるようにウエハステージ43上に載置されており、ウエハ42およびウエハステージ43はケーシング44によって外部の雰囲気と隔離されている。このケーシング44の内部空間も不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施例では窒素でパージしている。そして、レチクルステージ32とウエハステージ43とを投影光学系41の倍率に応じた速度比で投影光学系41に対して相対的に移動させつつ、レチクル31を照明することにより、ウエハ42上の露光領域内にレチクル31上のパターンが転写される。

【0025】第1実施形態では、屈折型の投影光学系41中の複数のレンズ素子34～39が蛍石（フッ化カルシウム）で形成されている。図2は、蛍石の結晶軸方位について説明する図である。図2を参照すると、蛍石の結晶軸は、立方晶系のXYZ座標系に基づいて規定される。すなわち、+X軸に沿って結晶軸 $[100]$ が、+Y軸に沿って結晶軸 $[010]$ が、+Z軸に沿って結晶軸 $[001]$ がそれぞれ規定される。

【0026】また、XZ平面において結晶軸 $[100]$ および結晶軸 $[001]$ と $45^\circ$ をなす方向に結晶軸 $[101]$ が、XY平面において結晶軸 $[100]$ および結晶軸 $[010]$ と $45^\circ$ をなす方向に結晶軸 $[110]$ が、YZ平面において結晶軸 $[010]$ および結晶軸 $[001]$ と $45^\circ$ をなす方向に結晶軸 $[011]$ がそれぞれ規定される。さらに、+X軸、+Y軸および+Z軸に対して等しい鋭角をなす方向に結晶軸 $[111]$

が規定される。

【0027】なお、図2では、+X軸、+Y軸および+Z軸で規定される空間における結晶軸のみを図示しているが、他の空間においても同様に結晶軸が規定される。前述したように、蛍石では、図2中実線で示す結晶軸 $[111]$ 方向、およびこれと等価な不図示の結晶軸 $[-111]$ 、 $[1-11]$ 、 $[11-1]$ 方向では、複屈折がほぼ零（最小）である。

【0028】同様に、図2中実線で示す結晶軸 $[100]$ 、 $[010]$ 、 $[001]$ 方向においても、複屈折がほぼ零（最小）である。一方、図2中破線で示す結晶軸 $[110]$ 、 $[101]$ 、 $[011]$ 、およびこれと等価な不図示の結晶軸 $[-110]$ 、 $[-101]$ 、 $[01-1]$ 方向では、複屈折が最大である。

【0029】以下、本発明の手法を説明する前に、前述のBurnettらの手法の補正効果について検証する。図3は、Burnettらの手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。図3では、図中破線で示す5つの同心円が1目盛り $10^\circ$ を表している。したがって、最も内側の円が光軸に対して入射角 $10^\circ$ の領域を、最も外側の円が光軸に対して入射角 $50^\circ$ の領域を表している。

【0030】また、黒丸は比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域を、白丸は比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域を、ハッチングを施した小さな円（図5（c）を参照）は中間的な屈折率を有する複屈折のない領域を表している。一方、太い円および長い両矢印は複屈折のある領域における比較的大きな屈折率の方向を、細い円および短い両矢印は複屈折のある領域における比較的小さな屈折率の方向を表している。以降の図4および5においても、上述の表記は同様である。

【0031】前述したように、Burnettらの手法では、一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[111]$ とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを $60^\circ$ 相対的に回転させる。したがって、一方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は図3（a）に示すようになり、他方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は図3（b）に示すようになる。その結果、一对の蛍石レンズ全体における複屈折率の分布は、図3（c）に示すようになる。

【0032】この場合、図3（a）および（b）を参照すると、光軸と一致している結晶軸 $[111]$ に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。また、結晶軸 $[100]$ 、 $[010]$ 、 $[001]$ に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。さらに、結晶軸 $[110]$ 、 $[101]$ 、 $[011]$ に対応する領域は、周方向の偏光に対する屈折率が比較的小さく径方向の偏光に対する屈折率が比較的大きい複屈折領域となる。このように、個々のレンズでは、光軸から $35.26^\circ$ （結晶軸 $[111]$ と結晶軸 $[110]$ とのなす角度）の領域におい

て、複屈折の影響を最大に受けることがわかる。

【0033】一方、図3（c）を参照すると、一对の蛍石レンズを $60^\circ$ 相対的に回転させることにより、一对の蛍石レンズ全体では、複屈折が最大である結晶軸 $[110]$ 、 $[101]$ 、 $[011]$ の影響が薄められることがわかる。しかしながら、光軸から $35.26^\circ$ の領域すなわち光軸から比較的近い領域において、径方向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が小さい複屈折領域が残ることになる。その結果、Burnettらの手法では、複屈折の影響をある程度受けることになり、十分に良好な結像性能（光学性能）を確保することが困難である。

【0034】第1実施形態では、まず第1の手法として、投影光学系41中の複数のレンズ素子34～39のうち、第1群のレンズ素子の光軸を結晶軸 $[100]$ （または該結晶軸 $[100]$ と光学的に等価な結晶軸）と一致させ、第2群のレンズ素子の光軸を結晶軸 $[100]$ （または該結晶軸 $[100]$ と光学的に等価な結晶軸）と一致させ、第1群のレンズ素子と第2群のレンズ素子とを光軸を中心として $45^\circ$ だけ相対的に回転させる。ここで、結晶軸 $[100]$ と光学的に等価な結晶軸とは、結晶軸 $[010]$ 、 $[001]$ である。

【0035】図4は、本発明の第1の手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。第1の手法では、第1群のレンズ素子における複屈折率の分布は図4（a）に示すようになり、第2群のレンズ素子における複屈折率の分布は図4（b）に示すようになる。その結果、第1群のレンズ素子と第2群のレンズ素子との全体における複屈折率の分布は、図4（c）に示すようになる。

【0036】図4（a）および（b）を参照すると、第1の手法では、光軸と一致している結晶軸 $[100]$ に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。また、結晶軸 $[111]$ 、 $[1-11]$ 、 $[-11-1]$ 、 $[11-1]$ に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。さらに、結晶軸 $[101]$ 、 $[10-1]$ 、 $[110]$ 、 $[1-10]$ に対応する領域は、周方向の偏光に対する屈折率が比較的大きく径方向の偏光に対する屈折率が比較的小さい複屈折領域となる。このように、各群のレンズ素子では、光軸から $45^\circ$ （結晶軸 $[100]$ と結晶軸 $[101]$ とのなす角度）の領域において、複屈折率の影響を最大に受けることがわかる。

【0037】一方、図4（c）を参照すると、第1群のレンズ素子と第2群のレンズ素子とを光軸を中心として $45^\circ$ だけ相対的に回転させることにより、第1群のレンズ素子と第2群のレンズ素子との全体では、複屈折が最大である結晶軸 $[101]$ 、 $[10-1]$ 、 $[110]$ 、 $[1-10]$ の影響がかなり薄められ、光軸から $45^\circ$ の領域すなわち光軸から離れた領域において径方



向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が高い複屈折領域が残ることになる。この場合、一般の投影光学系において各レンズ素子における光軸と光束との最大角度は $35^\circ \sim 40^\circ$ 程度である。したがって、第1の手法を採用することにより、結晶軸 $[101]$ 、 $[10-1]$ 、 $[110]$ 、 $[1-10]$ の複屈折の影響を実質的に受けることなく、良好な結像性能を確保することができる。なお、本発明の第1の手法において、第1群のレンズ素子と第2群のレンズ素子とを光軸を中心としてほぼ $45^\circ$ だけ相対的に回転させるとは、第1群のレンズ素子および第2群のレンズ素子における光軸とは異なる方向に向けられる所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[010]$ 、 $[001]$ 、 $[011]$ 、または $[01-1]$ ）同士の光軸を中心とした相対的な角度がほぼ $45^\circ$ であることを意味する。たとえば第1群のレンズ素子における結晶軸 $[010]$ と、第2群のレンズ素子における結晶軸 $[010]$ との光軸を中心とした相対的な角度が $45^\circ$ である。また、図4(a)および図4(b)からも明らかな通り、結晶軸 $[100]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が $90^\circ$ の周期で現れる。したがって、第1の手法において、光軸を中心としてほぼ $45^\circ$ だけ相対的に回転させるということは、光軸を中心としてほぼ $45^\circ + (n \times 90^\circ)$ だけ相対的に回転させること、すなわち $45^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $225^\circ$ 、または $315^\circ$ ...だけ相対的に回転させることと同じ意味である（ここで、 $n$ は整数である）。

【0038】なお、上述の説明において、第1群のレンズ素子および第2群のレンズ素子は、それぞれ1つまたは複数のレンズ素子を有する。そして、第1群のレンズ素子または第2群のレンズ素子が複数のレンズ素子を含む場合、複数のレンズ素子は必ずしも連続するレンズ素子ではない。レンズ素子の群の概念は、以降の第3群～第6群のレンズ素子についても同様である。第1の手法では、第1群のレンズ素子の光軸に沿った厚さの総計と第2群のレンズ素子の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しいことが好ましい。

【0039】ところで、図3(c)と図4(c)とを参照すると、Burnettらの手法における光軸から $35.26^\circ$ の領域での複屈折の方向と第1の手法における光軸から $45^\circ$ の領域での複屈折の方向とが逆である。したがって、第1の手法とBurnettらの手法とを組み合わせる第2の手法を採用することにより、複屈折の影響を実質的に受けることなく、良好な結像性能を確保することができる。

【0040】第2の手法では、投影光学系41中の複数のレンズ素子34～39のうち、第1群のレンズ素子の光軸を結晶軸 $[100]$ （または該結晶軸 $[100]$ と光学的に等価な結晶軸）と一致させ、第2群のレンズ素子の光軸を結晶軸 $[100]$ （または該結晶軸 $[100]$ と光学的に等価な結晶軸）と一致させ、第1群のレンズ素子と第2群のレンズ素子とを光軸を中心として $45^\circ$ だけ相対的に回転させる。さらに、第3群のレンズ素子の光軸を結晶軸 $[111]$ （または該結晶軸 $[111]$ と光学的に等価な結晶軸）と一致させ、第4群のレンズ素子の光軸を結晶軸 $[111]$ （または該結晶軸 $[111]$ と光学的に等価な結晶軸）と一致させ、第3群のレンズ素子と第4群のレンズ素子とを光軸を中心として $60^\circ$ だけ相対的に回転させる。

【0041】ここで、結晶軸 $[111]$ と光学的に等価な結晶軸とは、結晶軸 $[-111]$ 、 $[1-11]$ 、 $[11-1]$ である。なお、第2の手法において、第3群のレンズ素子と第4群のレンズ素子とを光軸を中心としてほぼ $60^\circ$ だけ相対的に回転させるとは、第3群のレンズ素子および第4群のレンズ素子における光軸とは異なる方向に向けられる所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[-111]$ 、 $[11-1]$ 、または $[1-11]$ ）同士の光軸を中心とした相対的な角度がほぼ $60^\circ$ であることを意味する。たとえば第3群のレンズ素子における結晶軸 $[-111]$ と、第4群のレンズ素子における結晶軸 $[-111]$ との光軸を中心とした相対的な角度が $60^\circ$ である。また、図3(a)および図3(b)からも明らかな通り、結晶軸 $[111]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が $120^\circ$ の周期で現れる。したがって、第2の手法において、光軸を中心としてほぼ $60^\circ$ だけ相対的に回転させるということは、光軸を中心としてほぼ $60^\circ + (n \times 120^\circ)$ だけ相対的に回転させること、すなわち $60^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $300^\circ$ ...だけ相対的に回転させることと同じ意味である（ここで、 $n$ は整数である）。第2の手法では、第1群のレンズ素子の光軸に沿った厚さの総計と第2群のレンズ素子の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しく、且つ第3群のレンズ素子の光軸に沿った厚さの総計と第4群のレンズ素子の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しいことが好ましい。

【0042】また、図3(a)および(b)を参照すると、レンズ素子の光軸と結晶軸 $[111]$ とを一致させているので、複屈折が最大の結晶軸 $[110]$ 、 $[101]$ 、 $[011]$ に対応する領域が $120^\circ$ ピッチで存在し、臨面内で $3\theta$ の分布を有する複屈折の影響すなわち像面（ウエハ面）においてコマ収差が発生するような影響が現れるものと考えられる。これに対して、図4(a)および(b)を参照すると、レンズ素子の光軸と結晶軸 $[100]$ とを一致させているので、複屈折が最大の結晶軸 $[101]$ 、 $[10-1]$ 、 $[110]$ 、 $[1-10]$ に対応する領域が $90^\circ$ ピッチで存在し、臨面内で $4\theta$ の分布を有する複屈折の影響が現れる。

【0043】この場合、ウエハに投影すべきパターンにおいて縦横パターンが支配的であるため、 $4\theta$ の分布であれば縦横パターンに対して非点収差が発生するような

影響が現れることなく、像の崩れも顕著にならない。したがって、投影光学系41中の複数のレンズ素子34～39のうち、少なくとも1つのレンズ素子の光軸と結晶軸[100]（または該結晶軸[100]と光学的に等価な結晶軸）と一致させる第3の手法を採用することにより、複屈折の影響を実質的に受けることなく、良好な結像性能を確保することができる。

【0044】また、第1実施形態では、第4の手法として、投影光学系41中の複数のレンズ素子34～39のうち、第5群のレンズ素子の光軸を結晶軸[110]

（または該結晶軸[110]と光学的に等価な結晶軸）と一致させ、第6群のレンズ素子の光軸を結晶軸[110]（または該結晶軸[110]と光学的に等価な結晶軸）と一致させ、第5群のレンズ素子と第6群のレンズ素子とを光軸を中心として90°だけ相対的に回転させる。ここで、結晶軸[110]と光学的に等価な結晶軸とは、結晶軸[-110]、[101]、[-101]、[011]、[01-1]である。

【0045】図5は、本発明の第4の手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。第4の手法では、第5群のレンズ素子における複屈折率の分布は図5(a)に示すようになり、第6群のレンズ素子における複屈折率の分布は図5(b)に示すようになる。その結果、第5群のレンズ素子と第6群のレンズ素子との全体における複屈折率の分布は、図5(c)に示すようになる。

【0046】図5(a)および(b)を参照すると、第4の手法では、光軸と一致している結晶軸[110]に対応する領域は、一方の方向の偏光に対する屈折率が比較的大きく他方の方向（一方の方向に直交する方向）の偏光に対する屈折率が比較的小さい複屈折領域となる。また、結晶軸[100]、[010]に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。さらに、結晶軸[111]、[11-1]に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。

【0047】一方、図5(c)を参照すると、第5群のレンズ素子と第6群のレンズ素子とを光軸を中心として90°だけ相対的に回転させることにより、第5群のレンズ素子と第6群のレンズ素子との全体では、複屈折が最大である結晶軸[110]の影響がほとんどなく、光軸付近は中間的な屈折率を有する複屈折のない領域となる。すなわち、第4の手法を採用すると、複屈折の影響を実質的に受けることなく、良好な結像性能を確保することができる。なお、本発明の第4の手法において、第5群のレンズ素子と第6群のレンズ素子とを光軸を中心としてほぼ90°だけ相対的に回転させるとは、第5群のレンズ素子および第6群のレンズ素子における光軸とは異なる方向に向けられる所定の結晶軸（たとえば結晶軸[001]、[-111]、[-110]、または

[1-11]）同士の光軸を中心とした相対的な角度がほぼ90°であることを意味する。たとえば第5群のレンズ素子における結晶軸[001]と、第6群のレンズ素子における結晶軸[001]との光軸を中心とした相対的な角度が90°である。また、図5(a)および図5(b)からも明らかな通り、結晶軸[110]を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が180°の周期で現れる。したがって、第4の手法において、光軸を中心としてほぼ90°だけ相対的に回転させるということは、光軸を中心としてほぼ90°+(n×180°)だけ相対的に回転させること、すなわち90°、270°...だけ相対的に回転させることと同じ意味である（ここで、nは整数である）。

【0048】第4の手法においても、第5群のレンズ素子の光軸に沿った厚さの総計と第6群のレンズ素子の光軸に沿った厚さの総計とがほぼ等しいことが好ましい。特に、第4の手法では、複屈折領域が中央部（光軸およびその近傍）にあるので、中央部の薄い負レンズに適用することがさらに好ましい。

【0049】なお、第1実施形態では、第1の手法～第4の手法の4つの手法から適宜選択した1つの手法を採用することができる。また、4つの手法から選択した複数の手法を組み合わせることもできる。こうして、第1実施形態では、屈折型の投影光学系に蛍石のような複屈折性の光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な結像性能を有する投影光学系を実現することができる。

【0050】図6は、本発明の第2実施形態にかかる光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第2実施形態では、反射屈折型の投影光学系を備えた走査型投影露光装置に本発明を適用している。図6を参照すると、第2実施形態の露光装置は第1実施形態と同様に、レチクル（マスク）31を照明するための照明装置30を備えている。

【0051】照明装置30は、たとえば157nmの波長光を供給するF<sub>2</sub>レーザを有する光源、この光源からの光により所定形状（円形状、輪帯状、二極状、四極状など）の二次光源を形成するオプティカルインテグレータ、レチクル31上での照射範囲を規定するための照明視野絞りなどを有し、レチクル31上の照明領域をほぼ均一な照度分布のもとで照明する。

【0052】ここで、照明装置30内の照明光路は不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施形態では窒素でパージしている。レチクル31はレチクルステージ32上に載置されており、レチクル31およびレチクルステージ32はケーシング33によって外部の雰囲気と隔離されている。このケーシング33の内部空間も不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施例では窒素でパージしている。

【0053】照明装置30により照明されたレチクル3

1からの光は、反射屈折型の投影光学系62を介して、感光性基板としてのウエハ42へ導かれ、ウエハ42上の露光領域内にレチクル31のパターン像を形成する。投影光学系62は、レチクル31からの光に基づいてレチクル31上のパターンの中間像を形成する第1結像光学系(50~54)と、この中間像からの光に基づいて中間像の像(最終像)をウエハ42上の露光領域内に再結像させる第2結像光学系(55~61)とを有する。

【0054】第1結像光学系(50~54)は、第1の光軸AX1に沿って配置されたレンズ素子50と、このレンズ素子50を介した光を偏向させる反射面を有する光路折り曲げ鏡51と、第1の光軸AX1に対して所定の角度(例えば90°~130°程度)で交差する第2の光軸AX2に沿って配置されたレンズ素子52、53および凹面反射鏡54とを備えている。

【0055】第1結像光学系(50~54)では、光路折り曲げ鏡51の反射面で反射された光は、レンズ素子52および53を介して凹面反射鏡54で反射されて、再びレンズ素子53および52を通過し、光路折り曲げ鏡51の別の反射面へ向かう。そして、この光路折り曲げ鏡51の別の反射面の近傍には、レチクル31上のパターンの中間像が形成される。

【0056】第2結像光学系(55~61)は、第1の光軸AX1に沿って配置された複数のレンズ素子55~60と、コヒーレンスファクタ( $\sigma$ 値)を制御するための開口絞り61とを有し、第1結像光学系(50~54)によって形成された中間像からの光に基づいて、レチクル31のパターンの二次像をウエハ42上の露光領域内に形成する。なお、このような投影光学系は、たとえば米国特許第5,805,334号公報の第5図や、特開2000-47114号公報などに開示されている。

【0057】投影レンズ62内の投影光路は不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施形態ではヘリウムでパージしている。ウエハ42はウエハステージ43上に載置されており、ウエハ42およびウエハステージ43はケーシング44によって外部の雰囲気と隔離されている。このケーシング44の内部空間も不活性ガスでパージされることが好ましく、本実施例では窒素でパージしている。

【0058】そして、レチクルステージ32とウエハステージ43とを投影光学系62の倍率に応じた速度比で投影光学系62に対して相対的に移動させつつ、レチクル31を照明することにより、ウエハ42上の露光領域内にレチクル31上のパターンが転写される。

【0059】第2実施形態では、反射屈折型の投影光学系62中の複数のレンズ素子52、53、および55~60が蛍石(フッ化カルシウム)で形成されている。したがって、第2実施形態においても、第1実施形態で説明した第1の手法~第4の手法の4つの手法から適宜選

択した1つの手法を採用することができる。また、4つの手法から選択した複数の手法を組み合わせて採用することもできる。こうして、第2実施形態においても第1実施形態と同様に、反射屈折型の投影光学系に蛍石のような複屈折性の光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な結像性能を有する投影光学系を実現することができる。なお、第2実施形態においては、凹面反射鏡54によって形成される往復光路中に配置された屈折光学部材としての2つの負レンズ素子52および53に第4の手法を採用すると、この第4の手法では複屈折領域が中央部(光軸およびその近傍)にあるので、さらに良い結果が得られる。

【0060】なお、上述の各実施形態では、複屈折性の光学材料として蛍石を用いているが、これに限定されることなく、他の一軸性結晶、たとえばフッ化バリウム( $\text{BaF}_2$ )、フッ化リチウム( $\text{LiF}$ )、フッ化ナトリウム( $\text{NaF}$ )、フッ化ストロンチウム( $\text{SrF}_2$ )などを用いることもできる。この場合、フッ化バリウム( $\text{BaF}_2$ )などの結晶軸方位も本発明に従って決定されることが好ましい。

【0061】上述の各実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル(マスク)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、各実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図7のフローチャートを参照して説明する。

【0062】まず、図7のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、各実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウエハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。

【0063】その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301~ステップ305では、ウエハ上に金属を蒸着し、そ

の金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウエハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいふまでもない。

【0064】また、各実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図8のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図8において、パターン形成工程401では、各実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0065】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0066】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0067】なお、上述の各実施形態では、露光装置に

搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な光学系に対して本発明を適用することもできる。また、上述の各実施形態では、157nmの波長光を供給するF<sub>2</sub>レーザー光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえば193nmの波長光を供給するArFエキシマレーザー光源や、126nmの波長光を供給するArレーザー光源などを用いることもできる。

【0068】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、たとえば蛍石のような固有複屈折を持つ光学材料を用いているにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する光学系を実現することができる。したがって、本発明の光学系を露光装置に組み込むことにより、高解像な投影光学系を介した高精度な投影露光により、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態にかかる光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】蛍石の結晶軸方位について説明する図である。

【図3】Burnettらの手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。

【図4】本発明の第1の手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。

【図5】本発明の第4の手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。

【図6】本発明の第2実施形態にかかる光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図7】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図8】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【符号の説明】

30 照明装置

31 レチクル

34～39 レンズ素子

41 投影光学系

40, 61 開口絞り

42, 62 ウエハ

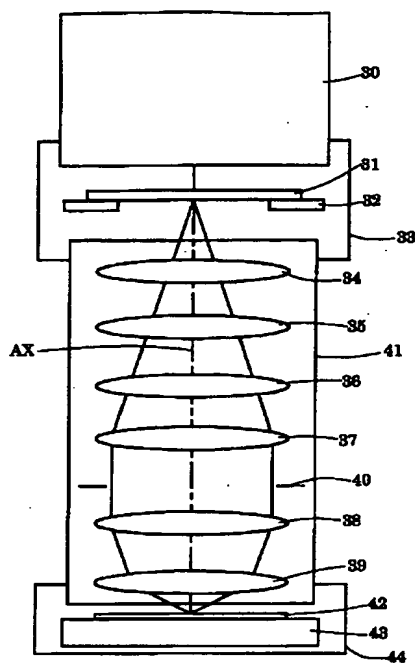
51 光路折り曲げ鏡

54 凹面反射鏡

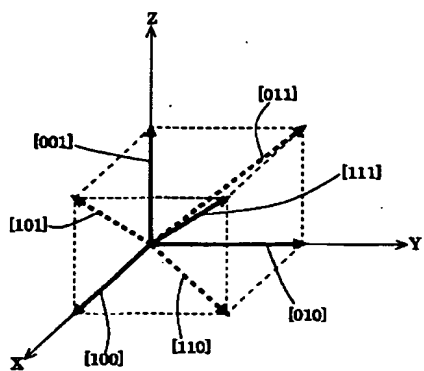
32, 53 レンズ素子

55～60 レンズ素子

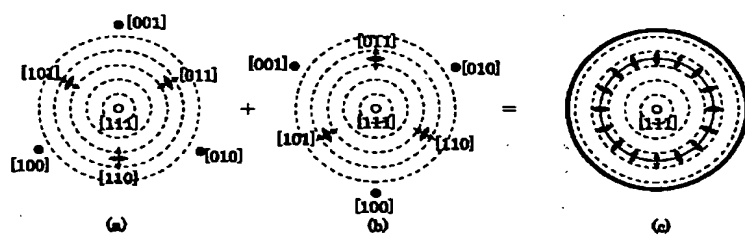
【图 1】



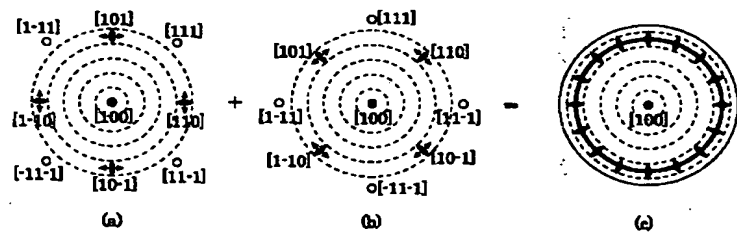
【图 2】



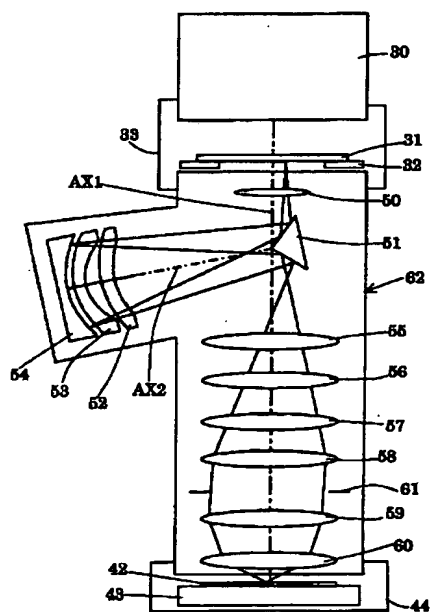
【图 3】



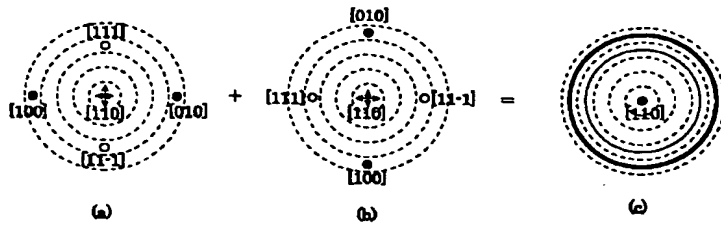
【图 4】



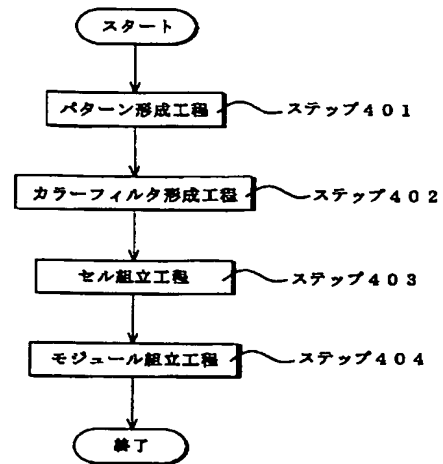
【图 6】



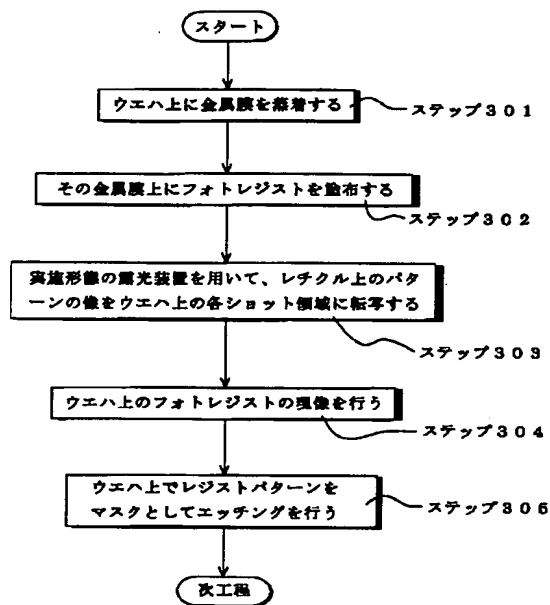
【図5】



【図8】



【図7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
H01L 21/027

識別記号

FI  
H01L 21/30

テーマコード(参考)  
515D

(72) 発明者 大村 泰弘  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 田中 一政  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

Fターム(参考) 2H087 KA21 TA01 TA05 UA04  
2H097 CA06 CA13 LA10  
2H099 AA00 BA09 BA17 CA02 CA05  
5F046 CB12 CB25 DA12